(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6370832号
(P6370832)
(45)発行日　平成30年8月8日(2018.8.8)　(24)登録日　平成30年7月20日(2018.7.20)

(51)Int.Cl.　F I
GO1R 15/14 (2006.01)　GO1R 15/14 B
GO1R 19/00 (2006.01)　GO1R 19/00 Y

請求項の数 5　(全 13 頁)

(21)出願番号　特願2016-93214(P2016-93214)
(22)出願日　平成28年5月6日(2016.5.6)
(65)公開番号　特開2017-201273(P2017-201273A)
(43)公開日　平成29年11月9日(2017.11.9)
審査請求日　平成29年9月19日(2017.9.19)

(73)特許権者　000006895
矢崎総業株式会社
東京都港区三田１丁目４番２８号
(73)特許権者　592032636
学校法人トヨタ学園
愛知県名古屋市天白区久方２丁目１２番地１
(74)代理人　100145908
弁理士　中村　信雄
(74)代理人　100136711
弁理士　益頭　正一
(72)発明者　石原　裕己
静岡県裾野市御宿１５００　矢崎総業株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】電圧センサ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
機械的な支持手段によって支持された円形状又は略円形状の振動子と、
前記振動子に対して所定の隙間を介して配置された固定電極と、
前記振動子を挟んで前記固定電極と異なる位置に配置され、前記振動子を振動させるために交流の駆動電圧が印加される駆動電極と、を備え、
前記固定電極に測定対象である電圧を印加することで、静電引力を前記振動子に作用させ、当該振動子の共振周波数が変化することで、測定対象である電圧を算出する
ことを特徴とする電圧センサ。
【請求項２】
前記支持手段は、前記振動子のうち振動振幅が最小となる４つの節の少なくとも１つに接続されている
ことを特徴とする請求項１に記載の電圧センサ。
【請求項３】
前記固定電極は、前記振動子の振動方向に沿って櫛歯状の溝が形成されている
ことを特徴とする請求項１又は請求項２のいずれかに記載の電圧センサ。
【請求項４】
前記振動子、前記固定電極、及び前記駆動電極は、基板上に形成されると共に、
前記基板は、平面視して前記振動子の形成領域に開口が設けられている
ことを特徴とする請求項１から請求項３のいずれか１項に記載の電圧センサ。

【請求項５】
前記固定電極及び駆動電極は、それぞれ２つ設けられており、
２つの前記駆動電極は、前記振動子の中心に対して互いに反対位置に配置されると共に、同位相の交流の駆動電圧が印加され、
２つの前記固定電極は、２つの前記駆動電極を結ぶ方向に対して直角となる位置に配置されている
ことを特徴とする請求項１から請求項４のいずれか１項に記載の電圧センサ。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、電圧センサに関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、ポッケルス素子、１／４波長板、偏光子、検光子等を備えた電圧センサが提案されている。この電圧センサでは、光源より出力された光信号が偏光子により偏光されてポッケルス素子に入射し、ポッケルス素子にて電圧の大きさに応じた光変調を受ける。光変調を受けた光信号は１／４波長板を経て検光子へ伝達される。検光子から出力された光信号は所定の光受信器により受信及び検出され、ポッケルス素子に印加された電圧を測定することができる（例えば特許文献１参照）。
【０００３】
しかし、特許文献１に記載の電圧センサは、ポッケルス素子、１／４波長板、偏光子、検光子等の部品が必要となり、部品点数の増加を招いてしまう他、光軸のアライメント等が必要となり、組み立てが煩雑化してしまう。
【０００４】
そこで、機械的なサスペンションによって支持された振動子と、この振動子にある隙間を介して対向配置された固定電極と、を具備し、固定電極に測定対象である電圧を印加することで、静電引力を振動子に作用させ、振動子の共振周波数が変化することで、測定対象である電圧を算出する電圧センサが提案されている（特許文献２参照）。
【０００５】
この電圧センサでは、測定対象となる電圧が固定電極に印加されると、この電圧による静電引力により、実質的にサスペンションのバネ定数が変化することとなり、振動子の共振周波数が変化することとなる。この変化は、測定対象となる電圧の大きさに一定の相関があることから、変化した共振周波数から測定対象となる電圧の値を測定することができる。このように、特許文献２に記載の電圧センサは、上記光学部品が必要とならず、部品点数の増加を抑え、且つ、光軸のアライメント等も必要とならないことから、組み立ての煩雑化も防止できる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００６】
【特許文献１】特開平３－１４６８７５号公報
【特許文献２】特開２０１３－２２８３６７号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
しかし、特許文献２に記載の電圧センサでは、光学的測定で得られるシグナルＱ値及び電気的測定で得られるシグナル変化が大きくないため、電圧測定精度の面で未だ改善の余地を残すものであった。
【０００８】
本発明はこのような従来の課題を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、部品点数の増加、及び、組み立ての煩雑化を防止しつつ、光学的測定で得られ

るシグナルＱ値及び電気的測定で得られるシグナル変化を大きくして電圧測定精度の向上を図ることが可能な電圧センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

本発明の電圧センサは、機械的な支持手段によって支持された円形状又は略円形状の振動子と、前記振動子に対して所定の隙間を介して配置された固定電極と、前記振動子を挟んで前記固定電極と異なる位置に配置され、前記振動子を振動させるために交流の駆動電圧が印加される駆動電極と、を備え、前記固定電極に測定対象である電圧を印加することで、静電引力を前記振動子に作用させ、当該振動子の共振周波数が変化することで、測定対象である電圧を算出することを特徴とする。

【００１０】

本発明の電圧センサによれば、円形状又は略円形状の振動子に対して、固定電極が設けられ、固定電極と異なる位置で、交流の駆動電圧が印加される駆動電極を備えるため、円形状又は略円形状の振動子は、駆動電極によって押しつぶされ又は押し広げられるように振動することとなり、並進型の振動子と比較すると振幅を小さくできる。よって、気体によるダンピングの影響を小さくでき振動子が安定して動作することから、ノイズを抑えて共振時のシグナル（光学的測定）のＱ値及びシグナル変化（電気的測定）を大きくすることができる。また、ポッケルス素子、１／４波長板、偏光子、検光子等の部品が必要なく、光軸のアライメント等も必要がないため、部品点数の増加、及び、組み立ての煩雑化を防止することができる。従って、部品点数の増加、及び、組み立ての煩雑化を防止しつつ、光学的測定で得られるシグナルＱ値及び電気的測定で得られるシグナル変化を大きくして電圧測定精度の向上を図ることができる。

【００１１】

また、上記電圧センサにおいて、前記支持手段は、前記振動子のうち振動振幅が最小となる４つの節の少なくとも１つに接続されていることが好ましい。

【００１２】

この電圧センサによれば、支持手段は振動子のうち振動振幅が最小となる４つの節の少なくとも１つに接続されているため、他の箇所に接続する場合よりも、振動のエネルギー損失を小さくすることができる。

【００１３】

また、上記電圧センサにおいて、前記固定電極は、前記振動子の振動方向に沿って櫛歯状の溝が形成されていることが好ましい。

【００１４】

この電圧センサによれば、固定電極は、振動子の振動方向に沿って櫛歯状の溝が形成されているため、振動と平行に気体が抜けることとなり、一層気体によるダンピングの影響を抑えることができる。

【００１５】

また、上記電圧センサにおいて、前記振動子、前記固定電極、及び前記駆動電極は、基板上に形成されると共に、前記基板は、平面視して前記振動子の形成領域に開口が設けられていることが好ましい。

【００１６】

この電圧センサによれば、基板は、平面視して振動子、固定電極、及び駆動電極の形成領域に開口が設けられているため、振動時に気体が基板の開口から抜け易くなり、気体によるダンピングの影響を抑えることができる。

【００１７】

また、上記電圧センサにおいて、前記固定電極及び駆動電極は、それぞれ２つ設けられており、２つの前記駆動電極は、前記振動子の中心に対して互いに反対位置に配置されると共に、同位相の交流の駆動電圧が印加され、２つの前記固定電極は、２つの前記駆動電極を結ぶ方向に対して直角となる位置に配置されていることが好ましい。

【００１８】

この電圧センサによれば、２つの駆動電極は、振動子の中心に対して互いに反対位置に配置されると共に、同位相の交流の駆動電圧が印加されていることから、円形状等の振動子が押しつぶされ又は押し広げられるように効率良く振動させせることができる。さらに、２つの固定電極は、２つの駆動電極を結ぶ方向に対して直角となる位置に配置されているため、振動子の最も振動量が大きい部分と２つの固定電極とを対向配置させることとなり、２つの固定電極に測定対象である電圧を印加した場合における当該振動子の共振周波数の変化をより顕著とすることができ、測定精度の向上を図ることができる。

【発明の効果】

【００１９】

本発明によれば、光学的測定で得られるシグナルＱ値及び電気的測定で得られるシグナル変化を大きくして電圧測定精度の向上を図ることが可能な電圧センサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００２０】

【図１】本発明の実施形態に係る電圧センサの原理を示す基本構成図である。

【図２】本実施形態に係る電圧センサを示す概略構成図である。

【図３】図２に示したリング部の振動の様子を示す概念図である。

【図４】リング部を示す斜視図である。

【図５】本実施形態に係る電圧センサの一部拡大図である。

【図６】本実施形態に係る電圧センサの断面図である。

【図７】実験に用いられた電圧センサの全体を示す平面図である。

【図８】図７に示す電圧センサの一部拡大図である。

【図９】図７及び図８に示す電圧センサの周波数に対するシグナル変化を示すグラフであって、固定電極に印加する電圧Ｖｍが０Ｖ、１００Ｖ、２００Ｖ及び３００Ｖであるときのシグナル変化を示している。

【図１０】図７及び図８に示す電圧センサの２つの固定電極に印加する電圧Ｖｍと共振周波数との相関を示すグラフである。

【図１１】比較例に係る電圧センサの光学的及び電気的測定の結果を示すグラフである。

【図１２】図７及び図８に示す電圧センサの光学的及び電気的測定の結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【００２１】

以下、本発明の好適な実施形態を図面に基づいて説明するが、本発明は以下の実施形態に限られるものではない。

【００２２】

図１は、本発明の実施形態に係る電圧センサの原理を示す基本構成図である。図１に示すように、基本原理に係る電圧センサＶＳは、機械的なサスペンションＶＳ１と、振動子ＶＳ２と、固定電極ＶＳ３と、演算部ＶＳ４とから構成されている。

【００２３】

サスペンションＶＳ１は、振動子ＶＳ２を支持するものである。このサスペンションＶＳ１のバネ定数をｋとする。振動子ＶＳ２は、サスペンションＶＳ１により支持された平板電極であり、サスペンションＶＳ１の弾性力により振動可能となっている。この振動子ＶＳ２の質量をｍとする。

【００２４】

固定電極ＶＳ３は、振動子ＶＳ２にある隙間を介して対向配置された平板電極であり、振動子ＶＳ２とは平行平板電極の関係を有している。なお、振動子ＶＳ２と固定電極ＶＳ３との向かい合った面積をＳとする。また、両者間の初期ギャップをｇとする。

【００２５】

このような電圧センサＶＳにおいて振動子ＶＳ２に交流電圧が印加されると、振動子ＶＳ２はサスペンションＶＳ１の弾性力により固定電極ＶＳ３との距離が増減する方向（図

中左右方向）に振動する。このとき、振動子ＶＳ２は、
【数１】

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \quad \cdot\cdot\cdot(1)$$

なる関係式（１）に基づく共振周波数f_rで振動することとなる。
【００２６】
　さらに、固定電極ＶＳ３に測定対象となる電圧が印加されたとする。このとき、固定電極ＶＳ３から振動子ＶＳ２に対して静電引力が付与されて距離ｘだけ変位する。静電引力は、式（２）に示す等価バネ定数k_eとして表わすことができる。
【数２】

$$k_e = \frac{\varepsilon_0 S V^2}{(g-x)^3} \quad \cdot\cdot\cdot(2)$$

なお、式（２）においてε_0はギャップｇ間の誘電率であり、Ｖは測定対象となる電圧である。
【００２７】
　これにより、振動子ＶＳ２は式（３）に示す共振周波数f_r’で振動することとなる。
【数３】

$$f_r' = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k-k_e}{m}} \quad \cdot\cdot\cdot(3)$$

【００２８】
　ここで、式（２）の等価バネ定数k_eは、固定電極ＶＳ３に印加される電圧Ｖの大きさに応じて変化することから、式（３）に示す共振周波数f_r’についても電圧Ｖの大きさを反映したものとなる。
【００２９】
　よって、演算部ＶＳ４は、振動子ＶＳ２の共振周波数f_r’から測定対象となる電圧を算出することができる。
【００３０】
　本実施形態に係る電圧センサは、上記のような静電引力による共振周波数の変化を利用して、測定対象となる電圧を測定する。ここで、図１に示す電圧センサＶＳは、並進型の振動子ＶＳ２を備えており、これが振動子ＶＳ２の平板面に対して垂直方向に振動するため、周囲の気体によってダンピング（振動が減衰）させられ易くなってしまう。これにより、光学的測定で得られるシグナルＱ値及び電気的測定で得られるシグナル変化が大きくならず、電圧測定精度の面で未だ改善の余地を残すものであった。
【００３１】
　図２は、本実施形態に係る電圧センサ１を示す概略構成図である。図２に示すように、電圧センサ１は、ＭＥＭＳ（Micro Electro Mechanical Systems）加工技術を利用して作成されるマイクロ電圧センサであって、基板Ｂに対して、支持手段１０、振動子２０、２つの固定電極３０、２つの駆動電極４０を備えている。さらに、電圧センサ１は、演算部５０についても備えている。
【００３２】
　支持手段１０は、振動子２０を支持するものである。振動子２０は、円形状（例えば真円若しくは楕円）又は略円形状（例えば真円や楕円に近い多角形）の部材であって、支持手段１０によって支持されることで浮いた状態となっている。なお、以下の説明において振動子２０は円形状（真円）であるものとして説明する。２つの固定電極３０は、測定対

象となる電圧が印加される被測定電極である。これらの固定電極３０は、円形状の振動子２０を挟むように配置されている。また、固定電極３０は、円形状の振動子２０の外形に併せて、円弧形状となっており、円弧内側部位３１が振動子２０と所定の隙間を空けて対向配置されている。

【００３３】

２つの駆動電極４０は、円形状の振動子２０を挟むように、且つ、２つの固定電極３０とは異なる位置に配置されており、振動子２０を振動させるために同位相の交流の駆動電圧が印加されるものである。より詳細に２つの駆動電極４０は、２つの固定電極３０を結ぶ方向に対し、平面視して（すなわち図２に示す上面からみた場合に）直角となる方向にそれぞれ配置されている。また、振動子２０は、円形状のリング部２１と、リング部２１から側方（上記直角となる方向）に突出する２つの櫛歯部２２を備えている。２つの駆動電極４０は、これら２つの櫛歯部２２が有する櫛歯とかみ合うように櫛歯形状の櫛歯部４１を備え、振動子２０を効率的に振動させるようになっている。なお、図２に示す例において櫛歯部２２及び駆動電力４０はリング部２１の外側に設けられているが、これに限らず、双方がリング部２１の内側に設けられていてもよい。

【００３４】

図３は、図２に示したリング部２１の振動の様子を示す概念図である。図３に示すように、２つの駆動電極４０に対して同位相の交流の駆動電圧が印加されると、２つの駆動電極４０を結ぶ直線上において、円内側方向にリング部２１を縮めるように力が作用し、その後、円外側方向にリング部２１を拡げるように力が作用し、これが繰り返されることとなる。このため、円内側方向に力が作用した場合には、リング部２１は図３において縦長の楕円形状となり、円外側方向に力が作用した場合には、リング部２１は図３において横長の楕円形状となる。このようにリング部２１は、縦長の楕円形状と横長の楕円形状とを交互に繰り返すようなワイングラスモードの振動をすることとなる。なお、リング部２１が円形状であるためその剛性が高く、ここでの振動によるリング部２１の形状変化量は１ｎｍ程度であり、特許文献２に記載の並進型の振動子の振動（変位量３μｍ）よりも小さい振動をすることとなる。

【００３５】

さらに、本実施形態において上記支持手段１０は４つであり、４つの支持手段１０は、振動子２０のうち振動振幅が最小となる４つの節ＱＰに接続されている。このため、４つの支持手段１０は、円形状の振動子２０の振動を阻害しないようになっている。なお、支持手段１０は、振動子２０を支持できれば、４つに限らず、１つ、２つ又は３つであってもよい。

【００３６】

ここで、振動子２０の共振周波数$ｆ_0$は、以下の式となる。

【数４】

$$f_0=\frac{i(i^2-1)}{2\pi R^2(i^2+1)^{1/2}}\left(\frac{EI}{m}\right)^{\frac{1}{2}}\qquad I=\frac{w^3h}{12}$$

【００３７】

ここで、ｉは、振動モードによって決まるパラメータ（ワイングラスモード共振ではｉ＝２）であり、Ｒは、リング部２１の半径であり、Ｅはヤング率であり、Ｉは断面二次モーメントである。また、ｍはリング円周の単位長さあたりの質量であり、ｈはリング高さであり、ｗはリング幅である。

【００３８】

図４はリング部２１を示す斜視図である。図４に示すように、詳細には、ｗがリング部２１の径方向の厚みを示し、ｈが径方向を含む平面に対して垂直となる長さを示し、リング部２１の半径を示すＲは、リング部２１の中心点から、リング部２１の幅中央までの距離を示す。

【００３９】

上記のような共振周波数ｆ$_{0}$は、図１を参照して説明した例と同様に、２つの固定電極３０に測定対象となる電圧Ｖｍが印加されると、この電圧Ｖｍの大きさに応じて変化する。演算部５０は、この変化から測定対象となる電圧Ｖｍを演算により求めることとなる。

【００４０】

なお、本実施形態においては、４つの支持手段１０の根元側（振動子２０の接続側と反対側）に形成される電極のいずれか１つが電気的測定に用いられる電極となる。

【００４１】

図５は、本実施形態に係る電圧センサ１の一部拡大図であり、図６は、本実施形態に係る電圧センサ１の断面図である。図５に示すように、２つの固定電極３０は、円弧内側部位３１に、振動子２０の振動方向に沿って櫛歯状の溝３２が形成されている。これにより、振動時に気体が櫛歯状の溝３２を通じて抜けていくように（振動方向（図５に示す矢印方向）と同方向に抜けていくように）作用し、ダンピング抵抗が低減することとなる。

【００４２】

なお、図５に示すように、リング部２１の内側に円形の構造物６０（例えば基板Ｂの一部）を備える場合には、この構造物６０についても円周方向に亘ってリング径方向に延びる櫛歯状の溝６１を形成しておくことが好ましい。

【００４３】

また、図６に示すように、基板Ｂは、平面視して振動子２０の形成領域と対応する箇所（すなわち下側）に開口Ｂ１が設けられている。このため、振動時に気体が開口Ｂ１を通じて抜けていくこととなり（振動方向（図６に示す符号α）と垂直側の方向（図６に示す符号β）に抜けていくこととなり）、ダンピング抵抗が低減することとなる。

【００４４】

なお、上記において述べる基板Ｂとはいわゆるハンドル層を意味し、ハンドル層上には図６に示すように、犠牲層ＳＣが設けられ、犠牲層ＳＣ上にデバイス層ＤＬが設けられ、デバイス層ＤＬ上に、薄膜（金属層）ＴＦが設けられ、この薄膜ＴＦとデバイス層ＤＬとによって固定電極３０等の電極が形成されることとなる。

【００４５】

このような電圧センサ１においては、２つの駆動電極４０に対して同位相の交流の駆動電圧が印加される。電圧が交流であることから振動子２０は所定の共振周波数ｆ$_{0}$を持ち図３に示したように振動することとなる。

【００４６】

このとき、２つの固定電極３０に測定対象となる電圧Ｖｍが印加されたとする。この電圧Ｖｍによっても静電引力が発生し、振動子２０は共振周波数ｆ$_{0}$’を持ち振動することとなる。

【００４７】

演算部５０は、変化した共振周波数ｆ$_{0}$’から測定対象となる電圧Ｖｍの大きさを演算することとなる。なお、演算部５０は、共振周波数ｆ$_{0}$’と測定対象となる電圧Ｖｍの大きさとの相関を示す相関データを記憶しており、記憶される相関データに基づいて測定対象となる電圧Ｖを算出することとなる。このとき、演算部５０は、共振周波数ｆ$_{0}$’を測定するために振動子２０の変位量（変形量）を測定する必要がある。この際、電圧センサ１は振動子２０にレーザ光を照射し、反射光から振動子２０の変位量を求めることとなる（光学的測定）。また、電圧センサ１は、静電容量の変化から振動子２０の変位量を計測するようにしてもよい（電気的測定）。なお、静電容量から変位量を求める場合、固定電極３０をそのまま利用してもよいし、別途変位量を測定するための電極を設置してもよい。

【００４８】

次に、本実施形態に係る電圧センサ１の実験結果を説明する。なお、以下に示すグラフは、周波数特性分析器による分析結果を示している。

【００４９】

図７は、実験に用いられた電圧センサ１の全体を示す平面図であり、図８は、図７に示

す電圧センサ１の一部拡大図である。なお、図７においては、図２と重複する部位の一部については符号を省略している。
【００５０】
　まず、図７及び図８に示すような電圧センサ１を、ＭＥＭＳ技術を利用して作製した。電圧センサ１（基板Ｂ）の大きさは２３１２×２５３０μｍであり、リング部２１の半径Ｒは３２０μｍとした。また、リング部２１の幅ｗは１０μｍとした。さらに、２つの固定電極３０及び２つの駆動電極４０の双方に、電圧が印加されていない状態におけるリング部２１と２つの固定電極３０との隙間は、１０μｍとした。
【００５１】
　なお、図７に示す電圧センサ１は、２つの駆動電極４０を接続する接続部４２を有しており、実質上２つの駆動電極４０は１つの部材となっている。さらに、図８に示すように、支持手段１０は弾性構造となっている。すなわち、支持手段１０は、リング部２１の節ＱＰにおいて接続され、節ＱＰから根元方向に延びて分岐する２本の支持部１０ａを有すると共に、２本の支持部１０ａ間にＴ字の縦棒部分が配置されたＴ字状の空隙Ｇを有した弾性構造となっている。
【００５２】
　このような電圧センサ１の２つの駆動電極４０に対して交流電圧を印加して振動子２０を振動させた。このとき、振動子２０から発せられるシグナル変化を電気的測定により検出し、周波数を変化させることで共振周波数を得る。このような共振周波数の測定を、２つの固定電極３０に印加する電圧Ｖｍを０～３５０Ｖに変化させながら行った。
【００５３】
　なお、図７及び図８に示すように、振動子２０は、櫛歯部２２を２段に備える構成となっており、２つの駆動電極４０についてもこれに対応するように２段に櫛歯部４１を備えた形状となっている。
【００５４】
　図９は、図７及び図８に示す電圧センサ１の周波数に対するシグナル変化を示すグラフであって、固定電極３０に印加する電圧Ｖｍが０Ｖ、１００Ｖ、２００Ｖ及び３００Ｖであるときのシグナル変化を示している。
【００５５】
　図９に示すように、２つの固定電極３０に印加する電圧Ｖｍが０Ｖである場合の共振周波数が最も高く、１００Ｖ、２００Ｖ及び３００Ｖと印加電圧Ｖｍが高くなるに従って、共振周波数は低下していく。
【００５６】
　図１０は、図７及び図８に示す電圧センサ１の２つの固定電極３０に印加する電圧Ｖｍと共振周波数との相関を示すグラフである。図１０に示すように、測定対象となる２つの固定電極３０に印加される電圧Ｖｍに対して、共振周波数は単調減少しており、電圧センサ１として機能することがわかった。
【００５７】
　図１１は、比較例に係る電圧センサの光学的及び電気的測定の結果を示すグラフであり、図１２は、図７及び図８に示す電圧センサ１の光学的及び電気的測定の結果を示すグラフである。
【００５８】
　図１１に示すように、比較例に係る電圧センサ（特許文献２に示すもの）では電気的測定におけるシグナル変化量が約０．００２９〔Ｖｒｍｓ〕となり、光学的測定におけるシグナルのＱ値が１５０となっている。これに対して、図１２に示すように、図７及び図８に示す電圧センサ１では電気的測定におけるシグナル変化量が約０．０２７〔Ｖｒｍｓ〕となっており、従来と比較すると約１０倍の大きさとなっている。さらに、図７及び図８に示す電圧センサ１では光学的測定におけるシグナルのＱ値が３２０となっており、従来と比較すると約２倍の大きさとなっている。よって、本実施形態に係る電圧測定精度の向上を図ることができるといえる。

【００５９】
さらに、図示を省略したが、図５に示した構造を採用することにより、光学的測定におけるシグナルのＱ値が３２０から４６０となり、更に約１．４倍の大きさとなった。すなわち、一層電圧測定精度の向上を図ることができるといえる。
【００６０】
このようにして、本実施形態に係る電圧センサ１によれば、円形状又は略円形状の振動子２０に対して、固定電極３０が設けられ、固定電極３０と異なる位置で、交流の駆動電圧が印加される駆動電極４０を備えるため、円形状又は略円形状の振動子２０は、駆動電極４０によって押しつぶされ又は押し広げられるように振動することとなり、並進型の振動子と比較すると振幅を小さくできる。よって、気体によるダンピングの影響を小さくでき振動子２０が安定して動作することから、ノイズを抑えて共振時のシグナル（光学的測定）のＱ値及びシグナル変化（電気的測定）を大きくすることができる。また、ポッケルス素子、１／４波長板、偏光子、検光子等の部品が必要なく、光軸のアライメント等も必要がないため、部品点数の増加、及び、組み立ての煩雑化を防止することができる。従って、部品点数の増加、及び、組み立ての煩雑化を防止しつつ、光学的測定で得られるシグナルＱ値及び電気的測定で得られるシグナル変化を大きくして電圧測定精度の向上を図ることができる。
【００６１】
また、支持手段１０は振動子２０のうち振動振幅が最小となる４つの節ＱＰの少なくとも１つに接続されているため、他の箇所に接続する場合よりも、振動のエネルギー損失を小さくすることができる。
【００６２】
また、固定電極３０は、振動子２０の振動方向に沿って櫛歯状の溝３２が形成されているため、振動と平行に気体が抜けることとなり、一層気体によるダンピングの影響を抑えることができる。
【００６３】
また、基板Ｂは、平面視して振動子２０、固定電極３０、及び駆動電極４０の形成領域に開口Ｂ１が設けられているため、振動時に気体が基板Ｂの開口Ｂ１から抜けることとなり、一層気体によるダンピングの影響を抑えることができる。
【００６４】
また、２つの駆動電極４０は、振動子２０の中心に対して互いに反対位置に配置されると共に、同位相の交流の駆動電圧が印加されていることから、円形状等の振動子２０が押しつぶされ又は押し広げられるように効率良く振動させることができる。さらに、２つの固定電極３０は、２つの駆動電極４０を結ぶ方向に対して直角となる位置に配置されているため、振動子２０の最も振動量が大きい部分と２つの固定電極３０とを対向配置させることとなり、２つの固定電極３０に測定対象である電圧を印加した場合における当該振動子２０の共振周波数の変化をより顕著とすることができ、測定精度の向上を図ることができる。
【００６５】
以上、実施形態に基づき本発明を説明したが、本発明は上記実施形態に限られるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、変更を加えてもよい。
【００６６】
例えば、本実施形態において振動子２０と駆動電極４０とは、櫛歯部２２，４１を備えているが、これに限らず、充分に静電引力を発生させて振動子２０を振動させることができれば、特に櫛歯部２２，４１を備えていなくともよい。
【００６７】
また、図８に示すように、基板Ｂには、櫛歯部２２の過度の振動を櫛歯部２２の背面側（リング部２１側）から抑えるストッパ部Ｓ１を備えていてもよいし、リング部２１の過度の振動をリング部２１の外側から抑えるストッパ部Ｓ２を備えていてもよい。なお、ストッパ部Ｓ１，Ｓ２は浮遊電極により構成することが好ましいが、特に浮遊電極により構

成する場合に限られない。

【００６８】

　加えて、上記実施形態において２つの駆動電極４０は、２つの固定電極３０を結ぶ方向に対して直角となる位置にそれぞれ配置されているが、特に直角に限らず、やや傾いた位置に配置されていてもよい。この場合、２つの固定電極３０とリング部２１の節ＱＰとが対向しないように、配置することが好ましい。

【００６９】

　さらに、上記実施形態において固定電極３０は、２つである例を説明したが、特に個数は２つに限られるものではない。さらに、固定電極３０は、円形状又は略円形状の振動子２０の外側に設けられる場合に限らず、内側に設けられていてもよい。

【００７０】

　さらに、上記実施形態において駆動電極４０は、２つである例を説明したが、例えば駆動電極４０は、１つだけ設けられていてもよいし、互いに９０°離間するように４つ設けられていてもよい。すなわち、駆動電極４０の個数は２つに限られるものではない。

【００７１】

　加えて、上記実施形態において駆動電極４０は、振動子２０を挟んで対向する位置に２つ設けられている関係上、同位相の交流電圧が印加されているが、これに限らず、例えば２つの駆動電極４０が９０°離間して配置されている場合には、逆位相となる交流電圧が印加されてもよい。これによっても、円形状等の振動子２０を押しつぶしたり押し広げたりするワイングラスモードの振動を実現できるからである。また、２つの駆動電極４０は９０°離間する形態に限られず、配置角度によって交流電圧の位相を適切に調整すれば、円形状等の振動子２０を押しつぶしたり押し広げたりするワイングラスモードの振動を実現することができる。

【００７２】

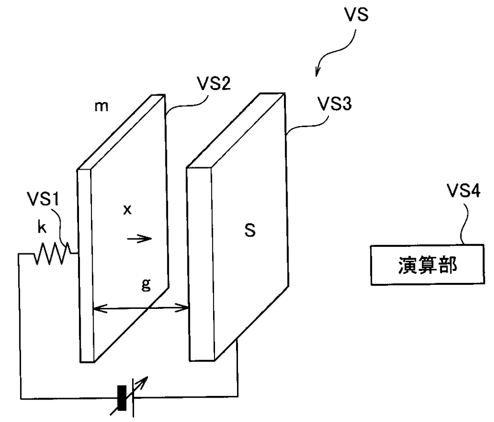
　なお、円形状等の振動子２０を押しつぶしたり押し広げたりするワイングラスモードの振動については、２つ以上の駆動電極４０が必須ではなく、例えば１つの駆動電極４０と、４つの支持手段によっても可能である。この場合、４つの支持手段は、９０°間隔でそれぞれ離間しており、１つの駆動電極４０は、いずれかの隣接する２つの支持手段によって支持される箇所の中間地点あたりに対して静電引力を付与すれば、ワイングラスモードの振動が可能となる。

【符号の説明】

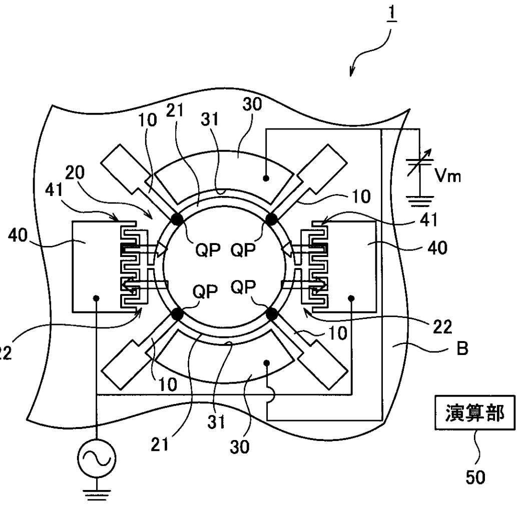
【００７３】

１　　：電圧センサ
１０　：支持手段
２０　：振動子
２１　：リング部
２２　：櫛歯部
３０　：固定電極
３１　：円弧内側部位
３２　：溝
４０　：駆動電極
４１　：櫛歯部
５０　：演算部
Ｂ　　：基板
Ｂ１　：開口
ＱＰ　：節

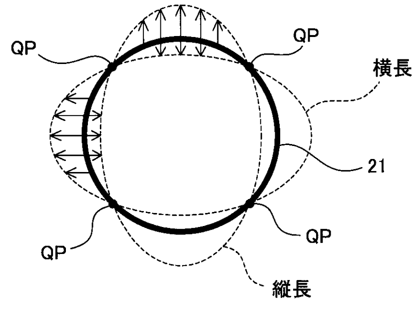
【図１】



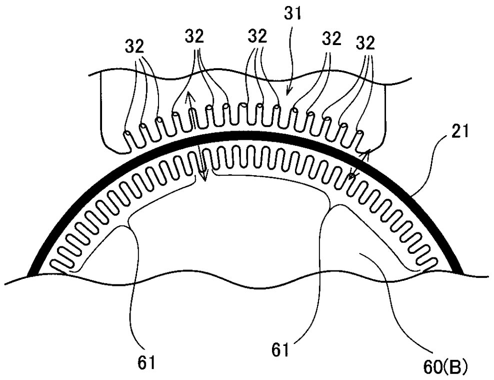
【図２】



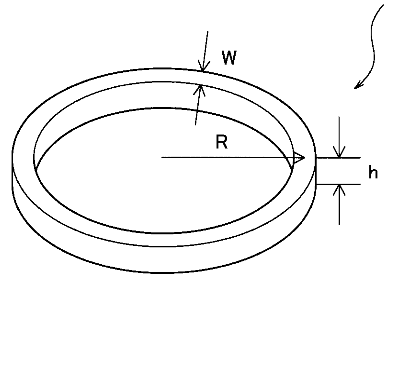
【図３】



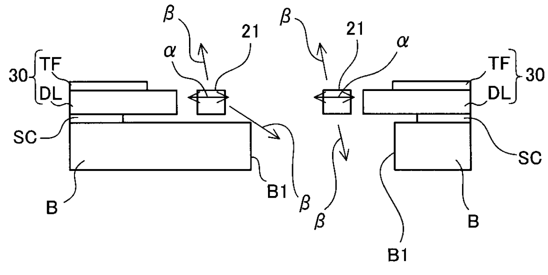
【図５】



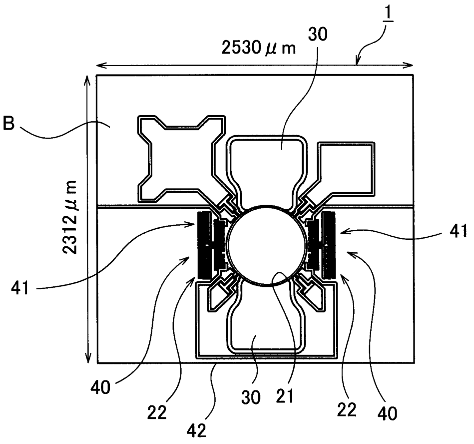
【図４】



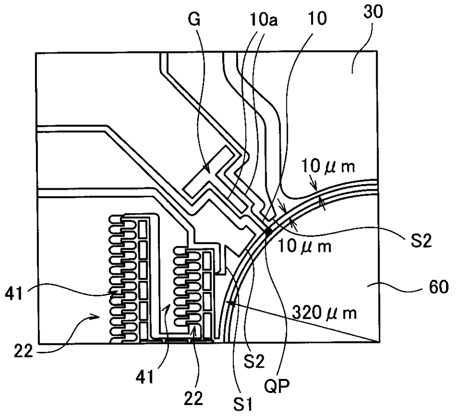
【図６】



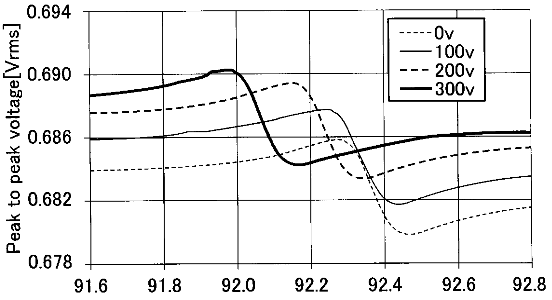
【図７】



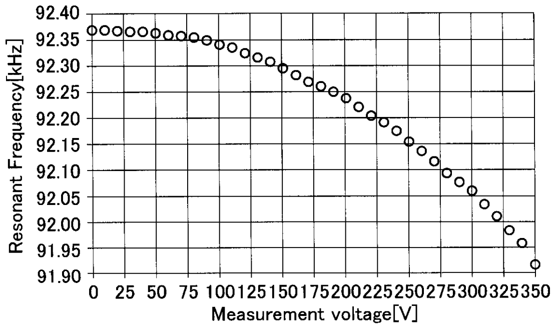
【図８】



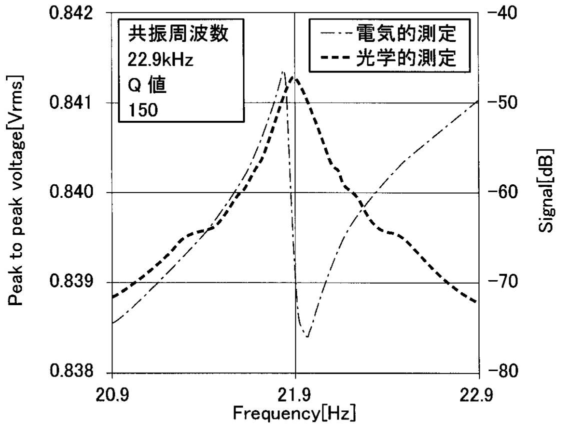
【図９】



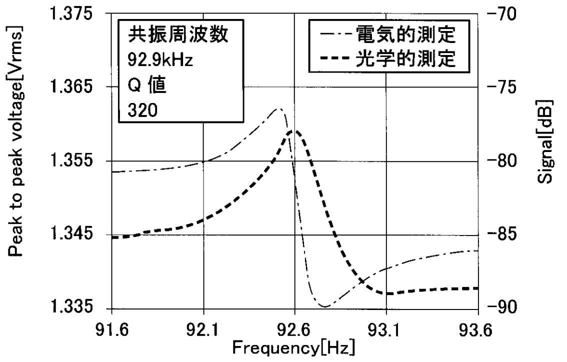
【図１０】



【図１１】



【図１２】



フロントページの続き

(72)発明者　石居　真
静岡県裾野市御宿１５００　矢崎総業株式会社内
(72)発明者　佐々木　実
愛知県名古屋市天白区久方２丁目１２番地１　豊田工業大学内

審査官　續山　浩二

(56)参考文献　特開２０１３－２２８３６７（ＪＰ，Ａ）
特表２００６－５１８１１９（ＪＰ，Ａ）
特表２００４－５０７９２１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－０３９５０７（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１５／０６００７１（WO，Ａ１）
特開２００３－２４０５５７（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－０２９９９２（ＪＰ，Ａ）
米国特許第６６５７４４２（ＵＳ，Ｂ１）
米国特許出願公開第２０１３／０１８１６９７（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｒ　１５／１４
Ｇ０１Ｒ　１９／００
Ｇ０１Ｃ　１９／５７１９
Ｇ０１Ｐ　１５／１０